

Reciclaje y valorización de neumáticos para el desarrollo de ciudades sostenibles

¹Daniel Ferrández, ²Alicia Zaragoza-Benzal, ³Alexandra Míguez-Souto, ⁴Rafael Marcos-Sánchez

¹daniel.fvega@upm.es; ²alicia.zaragoza@upm.es; ³alexandra.miguez@upm.es;
⁴rafael.marcos@unir.net

Resumen— En la actualidad, los programas académicos están en constante desarrollo para adaptarse a las necesidades cambiantes del alumnado y de la sociedad. Esto obliga al profesorado universitario a formarse en metodologías activas y a rediseñar sus asignaturas para motivar la participación del estudiantado. En este contexto, el Aprendizaje-Servicio (ApS) se presenta como una herramienta de actualidad, que favorece el desarrollo y evaluación de competencias e incluye la necesidad de formar al estudiante en valores. Con esta metodología se apuesta por el aprendizaje de los contenidos de las asignaturas, para su posterior aplicación a una necesidad social vinculada con el entorno más próximo al alumnado. En este trabajo, se presenta una propuesta de aplicación de ApS que se ha llevado a cabo a lo largo del año 2023 con alumnado de grado y de máster en la E.T.S. de Edificación de Madrid. La experiencia ha tenido como objetivo acercar al estudiantado a la problemática ocasionada como consecuencia del aumento descontrolado de neumáticos en los vertederos de las grandes ciudades, y la necesidad de buscar soluciones eficientes y sostenibles para su reciclaje y revalorización. De esta manera, se describen las fases, planificación y metodología empleada a lo largo de un curso académico resaltando los aspectos más relevantes. Los resultados muestran cómo la integración del ApS en las asignaturas ha mejorado el grado de satisfacción del alumnado y ha permitido generar ideas y desarrollar productos que pueden servir como motor para impulsar un cambio hacia un sector de la construcción más sostenible. Así, la formación del alumnado en materia de sostenibilidad se ha presentado como un factor clave en el curso, siendo posible la adaptación de esta propuesta en otras asignaturas interesadas en abordar la problemática medioambiental en entornos urbanos.

Palabras Clave— Aprendizaje y Servicio, economía circular, neumáticos fuera de uso, construcción sostenible, grado en edificación.

Abstract— Nowadays, academic programs are constantly evolving to adapt to the changing needs of students and society. This forces university lecturers to train in active methodologies and redesign their subjects to motivate student participation. In this context, Service-Learning (SL) is presented as a current practice, which promotes the development and evaluation of competences and includes the need to educate students in values. This methodology commits to learning the content of the subjects for its subsequent application to a social need linked to the students' closest environment. In this work, a proposal for the application of SL that has been carried out throughout the year 2023 with undergraduate and master's students at the E.T.S. de Edificación de Madrid. The experience aimed to bring students closer to the problems caused by the uncontrolled dumping of tyres in large cities, and the need to find efficient and sustainable solutions for their recycling and revaluation. In this way, the phases, planning, and methodology used throughout an academic course are described, highlighting the most relevant aspects. The results show how the integration of SL in the subjects has improved the degree of student satisfaction and has allowed generating ideas and developing products that can serve as a driving force to promote a change towards a more sustainable construction sector. Thus, training students in sustainability has been presented as a key factor in the course, making it possible to adapt this proposal in other subjects interested in addressing environmental issues in urban environments.

Keywords — Learning and Service, circular economy, end-of-life tyres, sustainable construction, building degree.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, vivimos un proceso de cambio marcado por el avance de la sociedad del conocimiento y la necesidad de que los sistemas de educación superior formen ciudadanos y ciudadanas más respetuosos con el medio ambiente y comprometidos con la sostenibilidad del planeta (Martínez Domínguez *et al.*, 2013). El Aprendizaje y Servicio (ApS) es una metodología activa que surge como respuesta a estas demandas y que intenta implicar al alumnado, convirtiéndolo en el motor del cambio para su entorno. Tal y como destacan algunos autores, esta forma de plantear la enseñanza combina los procesos de aprendizaje de carácter académico con la puesta en marcha de un servicio a la comunidad en un proyecto bien articulado, donde el alumnado se involucra en resolver las necesidades reales de su entorno (Martín *et al.*, 2010). De esta manera, a través de acciones solidarias se complementa la formación curricular, haciendo que los y las estudiantes pongan en práctica sus conocimientos y habilidades al servicio de los demás y contribuyendo a la formación para una ciudadanía responsable y comprometida con su entorno (Batlle y Escoda, 2019).

Investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid han analizado las características que hacen del ApS una herramienta eficaz para incorporar conceptos y acciones de sostenibilidad en el currículo universitario, afrontando los desafíos que esto implica (Arambuzabala *et al.*, 2015). Según la UNESCO, la educación para el desarrollo sostenible busca promover un crecimiento económico que sea responsable, perdurable y que tenga en consideración la conservación del medio ambiente, la diversidad cultural y el bienestar social (UNESCO, 2009). La integración de prácticas para el desarrollo sostenible en la enseñanza supone un desafío para los docentes, pero también ofrece una valiosa oportunidad para que los estudiantes reflexionen y tomen conciencia de su responsabilidad cívica. Mediante actividades estructuradas que fomentan el cambio social, el ApS se presenta como una metodología clave para inculcar valores de participación ciudadana, respeto a la diversidad y compromiso social (Lester *et al.*, 2005). En este contexto, las universidades tienen una doble responsabilidad: formar ciudadanos y ciudadanas solidarios y comprometidos con su entorno, y promover un desarrollo humano y sostenible (Gutiérrez y Moreno, 2018). El desafío se intensifica ante el consumo desmesurado de recursos naturales y energías no renovables, cuyo impacto ambiental deteriora significativamente nuestros ecosistemas. Este consumo excesivo se traduce en grandes volúmenes de residuos sólidos urbanos, comprometiendo la capacidad de los vertederos municipales. Esta acumulación de desechos no solo genera un fuerte impacto visual y daña el medio natural, sino que también conduce a la saturación de los vertederos, resultando en una gestión insuficiente o inexistente de estos residuos (Ferrández *et al.*, 2023).

La gestión de residuos procedentes de neumáticos fuera de uso (NFU) representa un gran desafío para la sociedad actual. Estudios recientes indican que aproximadamente 4.000 millones de neumáticos son desechados anualmente, una cifra que se espera aumente a 5.000 millones para 2030 (Valentini y Pegoretti, 2022). Ante esta creciente problemática, las iniciativas de ApS se plantean como una oportunidad para promover las actividades de reciclaje y la revalorización de estos residuos. En particular, la industria de la construcción, principal demandante de recursos en Europa, encuentra en estas materias primas secundarias procedentes de NFU una oportunidad para el desarrollo de nuevos materiales de construcción sostenibles. Esta innovadora aplicación no solo aborda el desafío ambiental, sino que también promueve un impacto social positivo.

Este trabajo tiene como objetivo presentar una iniciativa de ApS llevada a cabo en la Escuela Técnica Superior de Edificación de Madrid (ETSEM), que promueve la economía circular en la industria de la construcción, centrándose en la revalorización de residuos de neumáticos fuera de uso (NFU) para el desarrollo de nuevos materiales de construcción más ecológicos. A través de este enfoque de ApS, los estudiantes de la ETSEM tienen la oportunidad de aplicar prácticamente los conocimientos teóricos adquiridos para promover la sostenibilidad en la edificación y ofrecer soluciones reales a problemas ambientales.

2. METODOLOGÍA

Esta propuesta se implementó en la Escuela Técnica Superior de Edificación de Madrid, con alumnado de grado y de máster universitario. La Tabla 1 presenta la información más relevante sobre los participantes y el contexto en el que se desarrolló la iniciativa.

Tabla 1. *Participantes y contexto.*

Doble grado en Edificación y Administración y Dirección de Empresas (ADE)		Máster Universitario en Innovación Tecnológica en Edificación (MITE)	
Asignatura	Dirección estratégica (6 ECTS)	Asignatura	Monitorización (3 ECTS)
Curso	Cuarto	Curso	Primero
Semestre	Primer semestre	Semestre	Primer Semestre
Estudiantes	35	Estudiantes	15

El diseño de la actividad se ha realizado tomando como referencia el texto de Puig, Martín y Batlle (2008, pp. 4-5). Este se ha estructurado en tres fases claramente definidas, las cuales se detallan a continuación:

Fase 1: Preparación de la propuesta

Una vez aceptado el reto de implementar el proyecto ApS en las asignaturas, fue esencial contextualizar la iniciativa y formular un esquema inicial sobre el que empezar a trabajar. Esta fase se dividió en dos etapas distintas.

Primera etapa: elaboración del borrador. Se comenzó con la creación de un borrador de la propuesta de ApS, adaptando los objetivos según el nivel del alumnado. Para los estudiantes de grado, el enfoque estuvo en el análisis estratégico, mientras que para los de máster, en la economía circular y el desarrollo de materiales sostenibles. Este proceso se llevó a cabo mediante un estudio del grupo y sus integrantes, explicando la importancia de implementar sistemas de gestión eficientes para NFU y cómo estas iniciativas de reciclaje podrían suponer una potencial fuente de ventaja competitiva en el sector de la construcción. Se identificaron dos áreas de servicio: desarrollo de modelos de negocio sostenibles para revalorizar NFU y diseño de nuevos productos de construcción sostenibles, ambos apoyados por SIGNUS Ecovalor S.L.

La colaboración entre los grupos UPM y SIGNUS fue continua, fluida y productiva, caracterizada por reuniones regulares para alinear intereses, identificar necesidades y coordinar recursos, fomentando una estrategia de mejora continua.

Segunda etapa: planificación. Se realizó la planificación detallada de la propuesta, incluyendo la temporalización de las diferentes fases y la organización de una charla inicial por parte de SIGNUS para concienciar sobre el proyecto. La Figura 1 ilustra la temporalización de cada una de las fases y la charla de sensibilización.

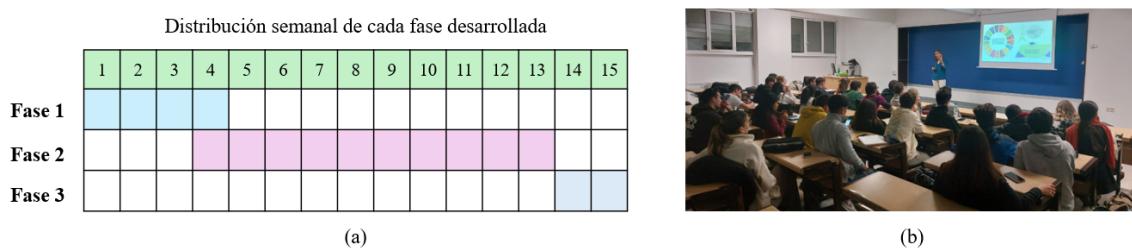


Figura 1. (a) Temporalización de la propuesta y (b) charla inicial de sensibilización por parte de SIGNUS.

Esta etapa es fundamental para establecer los objetivos pedagógicos, coordinar esfuerzos y definir acciones prácticas que promuevan la sostenibilidad y la conciencia medioambiental entre los estudiantes.

Fase 2: Puesta en marcha y ejecución

Esta fase se inicia con una etapa preparatoria fundamental para motivar al alumnado, abordada desde dos perspectivas distintas adaptadas al nivel educativo de los participantes. Para el alumnado de doble grado, ha sido clave trabajar los conceptos de producto medioambientalmente diferenciados y la ética empresarial. Este enfoque se ha traducido en el desarrollo de propuestas para nuevos modelos de negocio más sostenibles, alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por su parte, para el estudiantado de máster universitario, el reto planteado ha consistido en el diseño de nuevos materiales prefabricados para la construcción modular, con incorporación de estos NFU. De esta manera, el problema inicial se transforma en una necesidad tangible, logrando que el alumnado se implique personalmente bajo el lema de “pensar globalmente, actuar localmente”.

Durante los primeros días de trabajo, donde surgen la mayoría de las dudas, ha sido crucial la organización de tutorías grupales. Estas no solo orientan la iniciativa, sino que también previenen que la experiencia se limite a ser una simple acción de voluntariado o unas prácticas de laboratorio convencionales. Para lograr esto, se ha fomentado el pensamiento crítico del alumnado mediante dinámicas de trabajo de grupo en el aula y debates. Estas actividades han permitido reflexionar sobre los aprendizajes adquiridos durante el curso.

La etapa de prestación del servicio se llevó a cabo en la E.T.S. de Edificación, debido a restricciones de horario e incompatibilidades con otras asignaturas. En este contexto, los estudiantes de grado desarrollaron modelos de negocio enfocados en la gestión de los NFU, presentándolos en el aula ante sus compañeros. Posteriormente, crearon un repositorio para recopilar todos los documentos relacionados, que se entregaron a la organización SIGNUS. Con estas acciones, propusieron cerca de 10 iniciativas para promover un uso alternativo de las materias primas secundarias generadas como subproductos en el reciclaje de neumáticos fuera de uso. Por otro lado, los estudiantes de máster llevaron a cabo tareas de laboratorio donde se ensayaron diferentes configuraciones de materiales conglomerantes de construcción que incorporaban de residuos de NFU con diferentes características. Elaboraron informes y presentaron los resultados más significativos obtenidos.

Antes de finalizar la segunda fase, es recomendable organizar una sesión de cierre previa a la evaluación. Esta sesión tiene como objetivo reflexionar colectivamente sobre los logros del aprendizaje realizado y discutir las posibilidades futuras de esta iniciativa. Se propone también identificar futuras líneas de trabajo que permitan dar continuidad al proyecto en otros cursos o asignaturas.

Fase 3. Evaluación de la propuesta

Esta última fase se plantea como un proceso de evaluación multifocal de la propuesta. Se lleva a cabo una valoración detallada de cuatro puntos clave:

- Evaluación del grupo y de cada uno de sus integrantes.
- Evaluación del trabajo en red con la entidad de apoyo.
- Evaluación de la experiencia como proyecto de ApS.
- Autoevaluación del docente.

La evaluación grupal incluye una evaluación progresiva a lo largo del curso y una exposición final en el aula, que se califica utilizando una rúbrica de evaluación diseñada por el profesorado y tomando en consideración la evaluación entre iguales realizada por el alumnado. La evaluación de la experiencia y autoevaluación del docente implican una reflexión conjunta sobre las fortalezas y debilidades identificadas.

3. RESULTADOS

La propuesta metodológica desarrollada en la ETSEM ha demostrado ser efectiva, resultando en un notable rendimiento académico del alumnado involucrado. Además, se ha conseguido reducir la tasa de absentismo tanto en los programas de grado como de máster. La excepción fue solo dos estudiantes que, por motivos laborales y de incompatibilidad con otras asignaturas, no participaron en las evaluaciones progresivas, siendo los únicos suspensos en el curso.

La valoración del alumnado sobre la carga de trabajo y la metodología empleada en la asignatura ha sido muy positiva, reflejándose en las encuestas oficiales con calificaciones superiores a 8/10 en todos los casos. En este sentido, se entiende que el trabajo realizado ha sido beneficioso tanto para los estudiantes como para el profesorado involucrado. En todo caso, se estima oportuno continuar con un proceso de mejora continua para futuras aplicaciones en cursos sucesivos. Además, las evaluaciones cualitativas obtenidas mediante preguntas directas revelan comentarios representativos que destacan aspectos positivos de esta experiencia:

Alumno/a 1: “La dinámica de las clases está muy bien desarrollada”

Alumno/a 2: “El contenido y temario de la asignatura están bastante claros y organizados”

Alumno/a 3: “Las tareas realizadas son de gran utilidad y tienen aplicación real”

En términos generales, la implementación de esta iniciativa ha resultado satisfactoria, y tanto los estudiantes de edificación como los del doble grado de edificación y ADE han expresado su satisfacción con el trabajo realizado. Aunque es complicado sintetizar el contenido de todos los modelos de negocio propuestos por el alumnado, la Tabla 2 recoge de manera esquemática la idea central de negocio desarrollada en cada proyecto.

Tabla 2. Modelos de negocio propuestos por el alumnado implicado en el proceso.

Trabajo	Modelo de negocio desarrollado
1	Modelo de empresa constructora de piezas a medida de hormigón aligerado
2	“Paviwheel”: Modelo de empresa especializada en pavimentos con neumático
3	“ConstruFutura SA.” empresa dedicada a la fabricación de elementos de hormigón prefabricado incorporando caucho reciclado
4	Desarrollo de un prototipo de barrera acústica mediante caucho granulado
5	“NeumaCubiertas”, empresa dedicada al desarrollo de sistemas de aislamiento mediante la utilización de fibra textil procedente de NFU
6	“AislaGreen” modelo de negocio que trata de explotar el potencial de los NFU como material aislante de edificio y rediseñar los tradicionales productos existentes
7	Prototipo de tejas de hormigón reciclado reforzadoas con fibra metálica de NFU.
8	Modelo de recuperación de la fracción fina de NFU para hacer pavimentos impermeables

Como se puede observar, todos los modelos de negocio desarrollados están alineados con los objetivos incluidos en el Pacto Verde Europeo del año 2019, que promueve un uso más eficiente de los recursos naturales y la mitigación del impacto ambiental ocasionado por la construcción. En este contexto, el alumnado del doble grado ha actuado como plataforma generadora de ideas innovadoras, sugiriendo iniciativas sostenibles que la organización sin ánimo de lucro SIGNUS puede considerar para su implementación. Mediante este ejercicio de “consultoría externa”, el alumnado se ha visto involucrado en un proceso real de toma de decisiones y ha contribuido mediante la realización de una tarea próxima a su futura vida laboral como graduados en el sector empresarial.

Los estudiantes de máster han experimentado a nivel de laboratorio con diversos materiales con base de yeso y mortero, que incorporaban en su matriz residuos procedentes de NFU. A través de sus estudios de caracterización física y mecánica de estos materiales, y actuando como una entidad externa de control de calidad, los estudiantes no solo han aprendido a interpretar y analizar resultados de laboratorio, sino que también han desarrollado sistemas constructivos novedosos con un potencial de aplicación significativo. Entre estas innovaciones, caben destacar algunas propuestas como la incluida en la Figura 2, donde se desarrollan sistemas de paneles prefabricados con base yeso e incorporación de caucho procedente de NFU o el desarrollo de placas para falso techo enriquecidas con fibra textil. Esta última idea, original de una alumna que ahora cursa estudios de doctorado, fue recogida en la prestigiosa revista *Interiores* el pasado año.



Figura 2. Sistema constructivo desarrollado (Ferrández et al., 2024) y publicación en la revista *Interiores*.

El trabajo realizado hasta ahora ha contribuido a la búsqueda de nuevas soluciones para la recuperación y reciclaje de los NFU. En una siguiente etapa de este proyecto, se pretende continuar trabajando en esta línea de investigación y en explorar nuevos canales para difundir la iniciativa. Este esfuerzo de divulgación es crucial, ya que el impacto social deseado depende en gran medida de la sensibilización profesionales y responsables del sector de la construcción sobre el uso de estos materiales innovadores en sus proyectos. Para alcanzar este objetivo, será necesario el empleo de redes sociales y se organizarán reuniones con expertos. En estos encuentros, se presentarán los informes técnicos y las alternativas sostenibles desarrolladas por los estudiantes.

4. CONCLUSIONES

Estudiar cómo reciclar y revalorizar los NFU resulta beneficioso no solo para el alumnado (quien toma una mayor conciencia de su entorno y la importancia de mantener limpio el medio ambiente), sino también a nivel social, al contribuir a la reducción de los grandes volúmenes de residuos sólidos urbanos generados en las ciudades y buscar alternativas para su gestión. Dadas las fases desarrolladas para la implementación de esta propuesta, se reconoce que la iniciativa descrita en este trabajo es extrapolable a otros contextos universitarios y no universitarios. Con ello se pretende inspirar a docentes interesados en actividades de marcado carácter medioambiental, pudiendo contribuir a través de su trabajo de aula a reducir el impacto de los residuos sobre las grandes ciudades.

Los resultados de esta primera implementación de la metodología APS en este contexto sugieren que la práctica no solo es susceptible de mantenerse en el tiempo, sino también de crecer anualmente con la aplicación de nuevas técnicas e incorporación de nuevos agentes. Se ha comprobado a su vez el efecto positivo en el alumnado, quienes han valorado muy positivamente la iniciativa planteada, acogiendo el proyecto con gran ilusión y entusiasmo. Como propuesta futura, en cursos venideros se podría colaborar con otros centros para detectar con más precisión las posibles diferencias de resultados y competencias realmente adquiridas y desarrolladas por el alumnado.

Agradecimientos: Los autores desean expresar su sincero agradecimiento a SIGNUS Ecovalor, S.L., por su apoyo en la realización de este proyecto de ApS (Ref.: APS23.1001). La colaboración de SIGNUS, que incluyó la provisión de información, materias primas y una disponibilidad constante para colaborar, ha sido fundamental para el éxito de nuestro proyecto.

5. REFERENCIAS

Batlle, R. y Escoda, E. (2019). *100 buenas prácticas de aprendizaje-servicio. Inventario de experiencias educativas con finalidad social*. Santillana.

Ferrández, D., Yedra, E., Recalde-Esnoz, I., del Castillo, H. (2023). Reuse of end-of-life tires and their impact on the setting time of mortars: Experimental study using a new measuring equipment. *Journal of Building Engineering*, 69, 106255.

Ferrández, D., Álvarez, M., Zaragoza-Benzal, A., Santos, P. (2024). Eco-design and characterization of sustainable lightweight gypsum composites for panel manufacturing including end-of-life tyre wastes. *Materials*, 17(3), 635.

Gutiérrez, M., y Moreno, P. (2018). The learning service as a methodology for comprehensive training of university students. *EDETANIA4*, 53, 185-202.

Lester, S. W., Tomkovich, C., Wells, T., Flunker, L., y Kickul, J. (2005). Does service-learning add value? Examining the perspectives of multiple stakeholders. *Academy of Management Learning and Education*, 4(3), 278–294.

Puig, J.M., Batlle, R., Bosch, C., Palos, J. (2008). *Aprendizaje y Servicio: educar para la ciudadanía*. Octaedro.

Martín, X., Rubio, L., Batlle, R., y Puig, J.M. (2010). ¿Qué es Aprendizaje Servicio? En X. Martín y L. Rubio, *Prácticas de ciudadanía: diez experiencias de Aprendizaje Servicio* (pp. 15-24). Barcelona: Octaedro.

Martínez Domínguez, B., Martínez Domínguez, I., Alonso Sáez, I., y Gezuraga Amundarain, M. (2015). El aprendizaje-servicio, una oportunidad para avanzar en la innovación educativa dentro de la Universidad del País Vasco. *Tendencias Pedagógicas*, 21, 99–118.

UNESCO, Ministerio Federal de Educación e Investigación y Comisión Alemana para la UNESCO. (2009). Actas de la Conferencia Mundial de la UNESCO sobre la Educación para el Desarrollo Sostenible. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001850/185056s.pdf> (último acceso 20 de febrero de 2024)

Valentini, F., y Pegoretti, A. (2022). End-of-life options of tyres. A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 5(4), 203-213.